

DOI: 10.14188/j.ajsh.20240930001

# 天麻不同种质资源自交及其杂交后代果实和种苗农艺性状分析

朱怀静<sup>1</sup>, 张冰冰<sup>1</sup>, 刘樊<sup>1</sup>, 刘大会<sup>1,2</sup>, 李晓华<sup>1\*</sup>

(1. 湖北中医药大学药学院, 湖北武汉 430065;  
2. 湖北时珍实验室, 湖北武汉 430065)

**摘要:** 对12份天麻种质进行自交和杂交实验, 分析F<sub>0</sub>代、自交及杂交F<sub>1</sub>代的种子和白麻性状。结果显示, 不同天麻种质表现出的性状差异明显, 麻型上, 红天麻的长宽比为1.94~2.50, 麻型偏细长, 而乌天麻长宽比1.82~2.07, 麻型偏短粗; 抽薹时间上, 乌天麻最早, 红天麻次之, 不同种质的抽薹速度都符合Logistics生长曲线; 云南昭通血天麻花茎最长且较粗, 而果荚数量居中下水平, 湖北宜昌红天麻花茎相对较短, 而果荚数量最多; 以乌天麻变型为母本、安徽红天麻为父本的杂交F<sub>1</sub>代果荚颜色更偏向父本, 以血天麻变型为母本、安徽红天麻为父本的杂交F<sub>1</sub>代颜色更偏向母本, 杂交F<sub>1</sub>代种子性状呈现遗传母本的规律; 云南禄劝血天麻为母本的杂交F<sub>1</sub>代种子活力达到了98%以上; 不同来源乌、绿和血天麻为母本的杂交F<sub>1</sub>代白麻形状靠近父本安徽红天麻的细长条型, 不同来源红天麻为母本的杂交F<sub>1</sub>代白麻形状都靠近父本云南昭通乌天麻的圆润饱满。以安徽红天麻为母本、云南昭通乌天麻为父本的杂交F<sub>1</sub>代种子性状表现出显著优势, 云南禄劝血天麻为母本、安徽红天麻为父本杂交F<sub>1</sub>代种子活力最高; 四川红天麻为母本、云南昭通乌天麻为父本杂交F<sub>1</sub>代白麻相对于自交白麻形态更显圆润饱满。

**关键词:** 天麻; 种质资源; 农艺性状; 自交; 杂交; 种子活力

中图分类号: S334

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2025)01-0049-11

## Analysis of fruit and seedling agronomic characters of different germplasm resources and self-pollinated and hybrid offsprings of *Gastrodia elata*

ZHU Huaijing<sup>1</sup>, ZHANG Bingbing<sup>1</sup>, LIU Fan<sup>1</sup>, LIU Dahui<sup>1,2</sup>, LI Xiaohua<sup>1\*</sup>

(1. School of Pharmacy, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, Hubei, China;  
2. Hubei Shizhen Laboratory, Wuhan 430065, Hubei, China)

**Abstract:** Self-pollination and hybridization experiments were conducted on 12 germplasm resources of *G. elata*. The traits of the F<sub>0</sub> generation, as well as those of the self-pollinated and hybrid F<sub>1</sub> generations, were analyzed. The results showed that the 12 germplasms of *G. elata* exhibited obvious differences in traits. In terms of tuber type, *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* type was slender, with the ratio of length to width ranging from 1.94 to 2.50, while *Gastrodia elata* Bl. f. *glaucua* S. Chow type was short and thick, with the ratio ranging from 1.82 to 2.07. In terms of bolting time, *Gastrodia elata* Bl. f. *glaucua* S. Chow bolted earliest, followed by *Gastrodia elata* Bl. f. *elata*. The bolting speed of these germplasms conformed to the Logistics growth curve. The *G. elata* with blood-colored scape, which was original from Zhaotong, had the longest and thicker scape, while the number of fruit pods was below the medium level, *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* from Yichang had a shorter scape and the largest number of fruit pods. The fruit pod color of the hybrid

收稿日期: 2024-09-30 修回日期: 2024-11-22 接受日期: 2025-02-12

作者简介: 朱怀静(2001-), 硕士生, 研究方向: 中药资源与中药质量评价, E-mail: 13986655712@163.com

\* 通讯联系人: 李晓华(1984-), 副研究员, 博士, 研究方向: 中药资源与中药质量评价, E-mail: lixiaohua20212021@163.com

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFC3503804); 湖北省支持种业高质量发展资金项目(HBZY2023B00503); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21); 湖北省自然科学基金计划联合基金项目(2024AFD234); 湖北中医药大学博士教师科研启动经费(2023ZXB010)

引用格式: 朱怀静, 张冰冰, 刘樊, 等. 天麻不同种质资源自交及其杂交后代果实和种苗农艺性状分析[J]. 生物资源, 2025, 47(1): 49-59.

Zhu H J, Zhang B B, Liu F, et al. Analysis of fruit and seedling agronomic characters of different germplasm resources and self-pollinated and hybrid offsprings of *Gastrodia elata* [J]. Biotic Resources, 2025, 47(1): 49-59.

F1, with *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow serving as female parent and *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* from Anhui serving as male parent, was more inclined to the male parent. The color of hybrid F1, which used *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* (blood-colored scape type) serving as female parent and *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* from Anhui serving as male parent, was more inclined to the female parent, indicating that the traits of the seeds in the hybrid F1 showed the rule of inheritance from maternal parent. The seed vitality of hybrid F1, which used *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* (blood-colored scape type) as female parent, reached more than 98%. The shape of hybrid F1 immature tuber of *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow, *Gastrodia elata* Bl. f. *viridis makino* and *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* (blood-colored scape type) from different origins, which serving as female parent, was close to the slender strip of the male parent *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* from Anhui. The *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* hybrid F1 from different origins, which serving as female parent, was close to the male parent *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow from Zhaotong and showed rounded and full shape. The hybrid F1 with *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* from Anhui serving as female parent and *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow from Zhaotong serving as male parent showed significant advantages in seed traits among all hybrid combinations. The F1 seed vigor of *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* (blood-colored scape type) from Luquan serving as female parent and *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* from Anhui serving as male parent was the highest. The immature tubers of F1 hybrid with *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* from Sichuan as the female parent and *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow from Zhaotong as the male parent were more round and plump in shape compared to self-pollinated immature tubers.

**Key words:** *Gastrodia elata*; germplasm resources; agronomic traits; self-pollination; hybridization; seed vitality

## 0 引言

天麻为兰科(Orchidaceae)植物天麻(*Gastrodia elata* Bl.)的干燥块茎,是中国传统名贵中药材,具有息风止痉,平抑肝阳,祛风通络功效<sup>[1]</sup>。天麻药材主要靠人工栽培供应,在湖北、陕西、云南、四川、贵州、安徽、河南等省均有大面积栽培基地。天麻的种质资源主要包括红天麻(*Gastrodia elata* Bl. f. *elata*)、乌天麻(*Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow)、绿天麻(*Gastrodia elata* Bl. f. *viridis makino*)等多个变型,它们在形态学和生长适宜性上有较大的差异<sup>[2]</sup>。现天麻栽培主要采用种子进行有性繁殖,其能够避免天麻种源退化、提高天麻产量、扩大种源和改良品种,进而利用杂种优势培育新品种<sup>[3]</sup>。不同作物种质具有不同特性,杂交育种则能够结合不同亲本的优良性状基因重组产生新的遗传变异,为育种改良提供更多可能性。从20世纪初开始,随着遗传学、分子生物学等学科快速发展,人们开始利用种子选育、杂交育种和遗传工程等技术手段来进行中药材的育种工作。通过对中药材的遗传多样性的研究和分析,筛选出有潜力的优良品种,并通过人工选择和繁殖,逐渐形成了一批具有高产量、高品质和高药效的中药材新品种。中药材选育方法已呈现出从“选”到“育”的发展趋势<sup>[4]</sup>。利用系统育种和杂交育种培育出人参、柴胡、桔梗和荆芥等13个新品种<sup>[5]</sup>。在天麻育种上,率先采用宜昌红天麻和云南乌天麻为父母本杂交得到的杂交天麻“鄂天麻1号”和“鄂天麻2号”<sup>[6-7]</sup>,将不同变型天麻的优良基因进行组合,能培育得到具有双方

优势的新品种。当前对天麻不同种质花茎形态和自交种子形态进行了一定的研究,但对于天麻不同种质之间杂交后代的果实及种子性状差异研究还较少报道。

本研究对不同产区收集的12份天麻种质资源进行了自交及杂交研究,比较了不同种质自交和杂交后的蒴果、种子的形态和种子活力差异,以期为天麻种质资源的评价及杂交育种提供科学支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2022年12月至2023年2月,从云南、四川、湖北、安徽和陕西5个产区收集包括市场主要的杂交变型<sup>[8]</sup>乌天麻、红天麻、绿天麻及新品种血天麻<sup>[9]</sup>在内的12份箭麻,引种至湖北省随州市洛阳镇。经湖北中医药大学刘大会教授鉴定系兰科植物天麻的箭麻。材料来源见表1。

### 1.2 仪器试剂

IX-73P1F荧光倒置显微镜(日本OLYMPUS); 2%氯化三苯基四氮唑(TTC)染剂(国药集团化学试剂有限公司)。

### 1.3 试验设计

选取单个麻重为150~250 g,麻体无任何机械损伤、无病虫害、体型完整健硕、鹦哥嘴饱满完整的箭麻作为种麻。2023年2月底对12份种麻埋沙处理,在温室栽植,保持温度在20~25℃,相对空气湿度为60%~80%。筐内铺设10 cm厚的沙子,其上放置挑选好的箭麻,顶芽朝上,栽后盖沙8~10 cm,

表 1 12份天麻种质资源信息

Table 1 12 *G. elata* materials and their producing areas

序号	种质名称	来源
1	云南禄劝乌天麻(AL)	云南省禄劝县
2	四川乌天麻(AP)	四川省平武县
3	湖北宜昌乌天麻(AW)	湖北省五峰县
4	云南昭通乌天麻(AY)	云南省彝良县
5	安徽红天麻(BJ)	安徽省金寨县
6	四川红天麻(BP)	四川省平武县
7	陕西红天麻(BD)	陕西省丹凤县
8	湖北宜昌红天麻(BW)	湖北省五峰县
9	云南禄劝绿天麻(CL)	云南省禄劝县
10	云南昭通绿天麻(CY)	云南省彝良县
11	云南禄劝血天麻(DL)	云南省禄劝县
12	云南昭通血天麻(DY)	云南省彝良县

注: A、B、C和D分别表示乌天麻、红天麻、绿天麻和血天麻; 第二个字母代表产地, 如L代表云南省禄劝县

Note: A, B, C and D represent *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow, *Gastrodia elata* Bl. f. *elata*, *Gastrodia elata* Bl. f. *viridis* Makino and *Gastrodia elata* Bl. f. *elata* with blood-colored scape, respectively; the second letters represent the place of origin, such as L for Luquan County, Yunnan Province

浇水至含水量在60%~80%<sup>[10]</sup>。对12个类别的种麻进行自交, 并以各产地的乌天麻、红天麻、绿天麻和血天麻作为母本, 以具有地理标志<sup>[11-12]</sup>的安徽红天麻(BJ)和云南昭通乌天麻(AY)作为父本进行杂交实验, 每株花序均分为上下两部分, 下部约25朵作为自交实验组, 上部约25朵作为杂交实验组, 进行自交和杂交授粉<sup>[13]</sup>。每个组合设3个重复, 实验组合方式见表2。

表 2 天麻不同种质间杂交组合

Table 2 Hybrid combinations between different germplasms of *G. elata*

序号	自交组	杂交组合(母本×父本)
1	云南禄劝乌天麻(AL)	云南禄劝乌天麻×安徽红天麻(AL×BJ)
2	四川乌天麻(AP)	四川乌天麻×安徽红天麻(AP×BJ)
3	湖北宜昌乌天麻(AW)	湖北宜昌乌天麻×安徽红天麻(AW×BJ)
4	云南昭通乌天麻(AY)	云南昭通乌天麻×安徽红天麻(AY×BJ)
5	安徽红天麻(BJ)	安徽红天麻×云南昭通乌天麻(BJ×AY)
6	四川红天麻(BP)	四川红天麻×云南昭通乌天麻(BP×AY)
7	陕西红天麻(BD)	陕西红天麻×云南昭通乌天麻(BD×AY)
8	湖北宜昌红天麻(BW)	湖北宜昌红天麻×云南昭通乌天麻(BW×AY)
9	云南禄劝绿天麻(CL)	云南禄劝绿天麻×安徽红天麻(CL×BJ)
10	云南昭通绿天麻(CY)	云南昭通绿天麻×安徽红天麻(CY×BJ)
11	云南禄劝血天麻(DL)	云南禄劝血天麻×安徽红天麻(DL×BJ)
12	云南昭通血天麻(DY)	云南昭通血天麻×安徽红天麻(DY×BJ)

#### 1.4 天麻花部和蒴果性状调查

参考《中华人民共和国农业行业标准植物品种特异性、一致性和稳定性测试指南天麻》<sup>[14]</sup>测定相关指标, 对种麻的长、宽、重等农艺性状进行了测量。2023年4月20日蒴果逐渐膨大成熟后, 参考文献[10]测定箭麻的抽薹高度, 抽薹高度为自破土出苗至花茎最大生长高度。统一调查了12份种质材料的花茎高度、花茎粗度、花序高度、花朵数量、茎秆颜色5个农艺性状, 各组材料茎秆颜色参照中国传统色彩(<https://www.chinavid.com/chinese-color.html>)对比记录。在4月28日至5月10日蒴果成熟期对自交及杂交果荚的长、宽、重及颜色4个农艺性状进行测量统计。选取自交和杂交每组20~25个蒴果进行长、宽和重量检测。

#### 1.5 天麻种子形态观察和生活力测定

将种子从蒴果中倒出并混匀后, 每组取1.00 mg于1.50 mL离心管中, 加入2% TTC 染液1.00 mL混合摇匀, 于30℃培养箱中黑暗处理24 h<sup>[15]</sup>, 在显微镜(目镜10×, 物镜4×)下观察种胚长宽及种子活力率, 每组性状观察取3次的重复结果。

种子活力=(视野内红胚种子数/视野内种子总数)×100%

#### 1.6 数据处理及分析

用Excel对数据进行处理, 导入SPSS 26.0进行统计分析。采用Duncan新复极差法进行显著性分析, GraphPad Prism 8进行图片绘制和数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种质天麻块茎性状比较

12份天麻种质中AW麻宽的特征显著, 达到

64.54 mm, AP次之。BD和BW麻体偏长,分别为142.06 mm和133.28 mm。AW长宽比最小,BD的长宽比最大;不同产地红天麻的长宽比在1.94~2.50,乌天麻的长宽比在1.82~2.07,绿天麻的长宽比在1.97~2.10,而血天麻的长宽比在1.99~2.22。长宽比比值越大代表越细长,比值越小代表越短圆,红天麻的长宽比在1.94~2.50,是识别天麻种类的重要表型参数(见表3)。

2.2 不同种质天麻花部性状比较

12份天麻种质抽蔓后花茎生长均呈现为“S”型曲线,见图1。升温定植后乌天麻(AY、AP、AW)的抽蔓较早,随后抽蔓的是红天麻(BD、BP、BW、BJ)。所有组别整体上都符合Logistics生长曲线,先慢速生长,后快速生长,最终趋于平缓状态。其中,AY

组从抽蔓到茎长稳定最快,用时14 d左右,DL组在所有组别中生长速率最慢,用时35 d左右。

由表4可知,12份天麻种质在5个农艺性状上表现出不同程度的差异,各产地不同变型花茎高度均值范围在96.60~157.07 cm,花茎粗度在0.81~1.40 cm,花序轴长在30.67~69.57 cm,开花数量在56.67~84.33个。不同天麻种质花茎高、花茎粗、花序长和开花数呈显著性差异。其中,以DY花茎高和花茎粗分别是153.13 cm和1.11 cm,在所有种质中为显著长且粗;AL和BW花茎高分别是96.6 cm、97.07 cm,相对其他种质显著矮;DY花序轴为68.2 cm,为显著最长,AL花序轴30.67 cm,相对其他种质短。BW蒴果数量为84个左右,显著较多,DL、AP、AW、BP和DY蒴果数量分别是59、62、62、

表3 不同种质天麻块茎农艺性状分析(n=5, x̄±SD)  
Table 3 Agronomic characters of tubers of *G. elata* germplasms (n=5, x̄±SD)

种质名称	长/mm	宽/mm	长宽比
云南禄劝乌天麻(AL)	109.98±2.69 <sup>e</sup>	55.44±2.04 <sup>bde</sup>	1.98±0.06 <sup>ede</sup>
四川乌天麻(AP)	114.93±7.75 <sup>d</sup>	60.40±3.91 <sup>ab</sup>	1.90±0.09 <sup>de</sup>
湖北宜昌乌天麻(AW)	117.29±6.50 <sup>cd</sup>	64.54±1.93 <sup>a</sup>	1.82±0.15 <sup>e</sup>
云南昭通乌天麻(AY)	105.13±9.21 <sup>e</sup>	51.59±5.33 <sup>e</sup>	2.07±0.41 <sup>ede</sup>
安徽红天麻(BJ)	116.46±2.09 <sup>d</sup>	54.07±1.81 <sup>de</sup>	2.15±0.04 <sup>cd</sup>
四川红天麻(BP)	112.87±5.86 <sup>de</sup>	58.16±3.14 <sup>bcd</sup>	1.94±0.13 <sup>ede</sup>
陕西红天麻(BD)	142.06±4.09 <sup>a</sup>	57.16±5.04 <sup>bcd</sup>	2.50±0.17 <sup>a</sup>
湖北宜昌红天麻(BW)	133.28±11.45 <sup>ab</sup>	54.84±1.93 <sup>cde</sup>	2.43±0.17 <sup>ab</sup>
云南禄劝绿天麻(CL)	117.13±1.72 <sup>cd</sup>	55.75±2.33 <sup>bcde</sup>	2.10±0.08 <sup>cd</sup>
云南昭通绿天麻(CY)	117.08±3.53 <sup>cd</sup>	59.63±4.50 <sup>abc</sup>	1.97±0.10 <sup>ede</sup>
云南禄劝血天麻(DL)	126.35±2.18 <sup>bc</sup>	56.99±1.22 <sup>bcd</sup>	2.22±0.05 <sup>bc</sup>
云南昭通血天麻(DY)	116.47±3.00 <sup>d</sup>	58.47±2.71 <sup>bcd</sup>	1.99±0.05 <sup>ede</sup>

注:差异显著性检验为Duncan法,小写字母表示5%差异水平(纵向比较)

Note: the difference significance test is Duncan method, and the lower case letters represent the 5% difference level (longitudinal comparison)

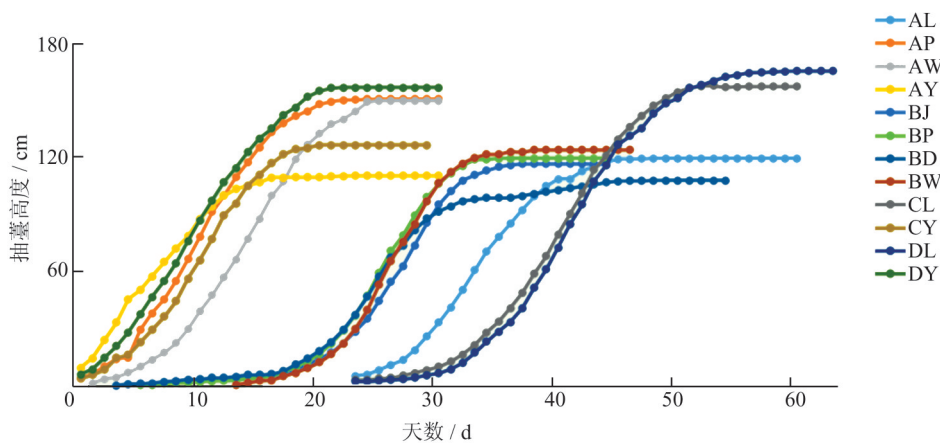


图1 不同种质天麻花茎抽蔓生长曲线

Figure 1 Stem growth curve of different *G. elata* germplasms

64和69个左右,相对其他种质较少。各种质在外观形态上未表现出品种间的较大差异,DY的花茎较高较粗而果荚数量并不占优势;BW花茎较矮,平均果荚数量相对其他种质较多。

2.3 不同种质天麻花朵自交、杂交F1代蒴果性状比较

由表5看出,各种质自交F1蒴果长度均值范围在20.26~26.91 mm,宽度范围在7.87~11.37 mm,重量均值范围在0.23~0.67 g。自交F1蒴果中DY长为26.91 mm左右,在所有种质中最长,AW、AY、DY的蒴果分别是11.00 mm、10.76 mm、11.37 mm,相对其他自交F1显著最宽,DY蒴果重量为0.67 g相对其他自交F1代显著最重。各种质作为母本的杂交F1代得到的蒴果长度均值范围在18.12~25.35 mm,宽度范围在6.92~11.01 mm,重量均值范围在0.16~0.50 g。杂交F1代蒴果中CY长为25.35 mm,长度在所有杂交组合中最长;DY蒴果宽为11.01 mm,相对其他杂交F1代显著较宽,DY蒴果重量为0.50 g,相对其他杂交F1代显著最重。结合自交F1代和杂交F1代蒴果性状可以得出,杂交组合AL×BJ、CL×BJ和CY×BJ的F1代蒴果的长度均大于其父母本自交F1代,长度倍数范围在1.02~1.22;其中,AL×BJ的F1代蒴果宽分别是其父母本自交F1代蒴果宽的1.02和1.04倍;其他杂交组合后代F1代的蒴果长和宽均小于其父母本的自交F1代,AL×BJ、CL×BJ和CY×BJ在蒴果性状上具有超亲优势。由图2看出,4种红天麻的蒴果普遍较圆润饱满,鼓起处位于果荚中间部

分且摘取时易破开,而其他3种形态上较相似,都表现为上宽下窄状,鼓起处位于上半部分。综上,红天麻蒴果较其他3种短小而饱满,乌、绿、血三种蒴果相对红天麻蒴果较长。图2中,在自然光线下,AL、AP、AW和AY的杂交F1代蒴果比自交F1的棕色更偏向父本杏红色;BJ、BP、BD和BW的杂交F1代蒴果与自交F1代无较明显的颜色偏向,更多体现在蒴果大小的变化,而CL的杂交F1代蒴果豆青比于自交F1代颜色豆绿色变浅,CY的颜色无太大变化,DL和DY两种的自交F1代蒴果颜色鲜亮有光泽,杂交F1代颜色相比自交F1代都更偏向母本。各种质杂交F1代形状及颜色变化,存在杂交后的性状遗传多样性。

2.4 不同种质天麻自交和杂交F1代的种子形态和活性比较

由图3可以看出,不同品种的种子形态形状不同。自交组乌天麻种子呈纺锤状或月牙状弯曲,中部突起明显且两端较尖锐,红天麻种子多为纺锤形,一端渐尖一端平截状,绿天麻和血天麻形态与乌天麻相似,呈明显的纺锤状或月牙状弯曲,血天麻的种子较其他3种天麻都更长,在显微观察中发现红天麻种子中出现无胚情况多,存在未授粉成功等因素。杂交组天麻种子形态上遗传母本性状,乌天麻、绿天麻和血天麻的杂交种子呈细长的纺锤状或月牙状,红天麻杂交种子呈圆润纺锤状。

由表6可知,各种质自交F1代种子长度均值在481.23~1 101.73 μm,种子宽度在164.37~194.78 μm,种胚长度在215.06~443.8 μm,种胚宽

表4 不同种质资源天麻花茎农艺性状比较(n=10, x̄±SD)

Table 4 Agronomic characters of stems of different *G. elata* germplasms(n=10, x̄±SD)

种质名称	花茎高度/cm	花茎粗度/cm	花序轴长/cm	果荚数量/个	茎秆颜色
云南禄劝乌天麻(AL)	96.60±6.95 <sup>f</sup>	1.08±0.09 <sup>a</sup>	30.67±1.39 <sup>f</sup>	70.67±2.08 <sup>bcd</sup>	棕黄
四川乌天麻(AP)	125.13±7.30 <sup>bc</sup>	1.40±0.71 <sup>a</sup>	46.67±3.25 <sup>bcd</sup>	62.67±4.73 <sup>de</sup>	棕黄
湖北宜昌乌天麻(AW)	128.93±1.40 <sup>b</sup>	0.99±0.06 <sup>a</sup>	44.47±2.06 <sup>bcd</sup>	62.33±4.04 <sup>de</sup>	棕黑
云南昭通乌天麻(AY)	125.90±11.10 <sup>bc</sup>	0.94±0.08 <sup>a</sup>	47.97±10.10 <sup>bc</sup>	73.33±4.51 <sup>abcd</sup>	秋色
安徽红天麻(BJ)	118.00±5.31 <sup>bcd</sup>	0.99±0.06 <sup>a</sup>	41.77±3.48 <sup>bde</sup>	80.00±5.29 <sup>abc</sup>	杏红
四川红天麻(BP)	104.07±6.41 <sup>def</sup>	0.81±0.08 <sup>a</sup>	32.23±3.77 <sup>ef</sup>	64.33±9.07 <sup>de</sup>	杏红
陕西红天麻(BD)	112.40±5.33 <sup>cde</sup>	0.98±0.03 <sup>a</sup>	38.80±2.25 <sup>cdef</sup>	80.00±5.20 <sup>abc</sup>	杏红
湖北宜昌红天麻(BW)	97.07±4.88 <sup>f</sup>	0.94±0.06 <sup>a</sup>	32.53±2.83 <sup>ef</sup>	84.33±5.51 <sup>a</sup>	杏红
云南禄劝绿天麻(CL)	113.17±3.35 <sup>cde</sup>	0.95±0.09 <sup>a</sup>	41.93±1.96 <sup>bde</sup>	78.33±6.81 <sup>abc</sup>	豆青
云南昭通绿天麻(CY)	124.23±17.52 <sup>bc</sup>	1.01±0.04 <sup>a</sup>	50.67±9.38 <sup>b</sup>	82.33±7.51 <sup>ab</sup>	豆青
云南禄劝血天麻(DL)	102.17±2.68 <sup>ef</sup>	0.91±0.03 <sup>a</sup>	37.37±2.43 <sup>def</sup>	56.67±0.58 <sup>c</sup>	杏黄
云南昭通血天麻(DY)	153.13±1.39 <sup>a</sup>	1.11±0.06 <sup>a</sup>	68.20±2.61 <sup>a</sup>	69.33±4.62 <sup>cd</sup>	橘红

注:差异显著性检验为Duncan法,小写字母表示5%差异水平(纵向比较)

Note: the difference significance test is Duncan method, and the lowercase letters represent the 5% difference level (longitudinal comparison)

表5 不同种质天麻自交和杂交F1代蒴果性状比较(n=10,  $\bar{x} \pm SD$ )

Table 5 Different fruit pod characters of self-pollinated and hybrid F1 of *G. elata* germplasms (n=10,  $\bar{x} \pm SD$ )

亲本	长/mm	宽/mm	重/g	蒴果颜色
云南禄劝乌天麻(AL)	21.05±0.77 <sup>d</sup>	9.09±0.65 <sup>cd</sup>	0.38±0.08 <sup>cde</sup>	棕黄
四川乌天麻(AP)	24.93±1.65 <sup>ab</sup>	10.30±0.61 <sup>ab</sup>	0.50±0.04 <sup>b</sup>	棕黑
湖北宜昌乌天麻(AW)	24.92±1.28 <sup>ab</sup>	11.00±0.54 <sup>a</sup>	0.43±0.04 <sup>bc</sup>	赭石
云南昭通乌天麻(AY)	25.31±2.61 <sup>ab</sup>	10.76±0.27 <sup>a</sup>	0.50±0.03 <sup>b</sup>	棕黑
安徽红天麻(BJ)	20.70±1.43 <sup>d</sup>	9.27±0.33 <sup>bc</sup>	0.32±0.03 <sup>def</sup>	杏红
四川红天麻(BP)	20.26±0.32 <sup>d</sup>	8.48±0.39 <sup>de</sup>	0.25±0.03 <sup>fg</sup>	杏红
陕西红天麻(BD)	21.97±1.09 <sup>bc</sup>	9.23±0.74 <sup>bc</sup>	0.30±0.06 <sup>defg</sup>	杏红
湖北宜昌红天麻(BW)	20.96±1.48 <sup>d</sup>	8.05±0.33 <sup>ef</sup>	0.23±0.04 <sup>g</sup>	棕红
云南禄劝绿天麻(CL)	21.25±0.38 <sup>d</sup>	7.87±0.26 <sup>f</sup>	0.29±0.03 <sup>defg</sup>	豆绿
云南昭通绿天麻(CY)	24.94±0.75 <sup>ab</sup>	9.08±0.22 <sup>cd</sup>	0.38±0.02 <sup>cd</sup>	葱绿
云南禄劝血天麻(DL)	21.92±0.61 <sup>bc</sup>	8.96±0.74 <sup>de</sup>	0.28±0.04 <sup>defg</sup>	橘红
云南昭通血天麻(DY)	26.91±1.58 <sup>a</sup>	11.37±0.85 <sup>a</sup>	0.67±0.07 <sup>a</sup>	橘红
云南禄劝乌天麻×安徽红天麻(AL×BJ)	24.34±0.30 <sup>a</sup>	9.45±0.92 <sup>ab</sup>	0.38±0.06 <sup>ab</sup>	琥珀
四川乌天麻×安徽红天麻(AP×BJ)	19.58±0.80 <sup>de</sup>	7.06±0.58 <sup>de</sup>	0.20±0.03 <sup>de</sup>	棕黄
湖北宜昌乌天麻×安徽红天麻(AW×BJ)	21.99±0.39 <sup>bc</sup>	9.40±1.06 <sup>bc</sup>	0.39±0.09 <sup>ab</sup>	棕黄
云南昭通乌天麻×安徽红天麻(AY×BJ)	20.91±0.61 <sup>cd</sup>	9.44±0.97 <sup>b</sup>	0.36±0.04 <sup>bc</sup>	棕黑
安徽红天麻×云南昭通乌天麻(BJ×AY)	19.59±0.59 <sup>de</sup>	8.29±0.86 <sup>bcd</sup>	0.30±0.05 <sup>bcd</sup>	杏红
四川红天麻×云南昭通乌天麻(BP×AY)	19.66±1.51 <sup>de</sup>	8.54±1.38 <sup>bcd</sup>	0.30±0.09 <sup>bcd</sup>	杏红
陕西红天麻×云南昭通乌天麻(BD×AY)	19.71±0.47 <sup>de</sup>	7.87±0.56 <sup>de</sup>	0.24±0.02 <sup>cde</sup>	杏红
湖北宜昌红天麻×云南昭通乌天麻(BW×AY)	18.12±0.95 <sup>e</sup>	6.92±0.24 <sup>e</sup>	0.16±0.03 <sup>e</sup>	杏红
云南禄劝绿天麻×安徽红天麻(CL×BJ)	23.54±0.81 <sup>ab</sup>	8.28±0.17 <sup>bcd</sup>	0.29±0.02 <sup>bcd</sup>	豆青
云南昭通绿天麻×安徽红天麻(CY×BJ)	25.35±1.30 <sup>a</sup>	9.07±0.62 <sup>bc</sup>	0.37±0.07 <sup>abc</sup>	葱绿
云南禄劝血天麻×安徽红天麻(DL×BJ)	20.85±0.76 <sup>cd</sup>	8.38±0.34 <sup>bcd</sup>	0.27±0.04 <sup>bcd</sup>	橘黄
云南昭通血天麻×安徽红天麻(DY×BJ)	24.01±2.28 <sup>ab</sup>	11.01±0.64 <sup>a</sup>	0.50±0.15 <sup>a</sup>	橘黄

注:差异显著性检验为Duncan法,小写字母表示5%差异水平(纵向比较)

Note: the difference significance test is Duncan method, and the lowercase letters represent the 5% difference level (longitudinal comparison)

度在122.75~167.21 μm;不同品种天麻种子长度中BD种子0.51 mm最短,AL、AW和CY分别为1.03 mm、1.10 mm和1.05 mm在自交F1代中最长,CL种子活力最强,达到了100%,各杂交F1种子长度均值范围在665.17~1 005.48 μm,种子宽度在165.35~187.68 μm,种胚长度在207.81~256.84 μm,种胚宽度在119.86~138.34 μm;DL杂交的种子活力达到了98%以上,在杂交组中显著最高;杂交F1代种子明显更长的有BD和BW,自杂交F1代的种子宽无显著差异;AL×BJ、AP×BJ、BJ×AY、BP×AY、BD×AY、BW×AY和DY×BJ杂交后F1代种子活力为96.19%、96.05%、95.02%、85.59%、90.32%、85.53%和91.73%相对亲本活力增强。AL自交种胚相对杂交种胚长显著,AW自交种子相对杂交种子长显著,BJ杂交种胚相对自交种胚长较显著,BP自交种子相对杂交

种子宽显著,BD自交种子相对杂交种子宽显著,CL自交与杂交的4种性状差异不显著,CY杂交种胚长相对自交极其显著,DL自交与杂交的4种性状差异不显著,DY杂交种子相对自交种子宽较显著,杂交种胚相对自交种胚宽较显著。其中BJ组的种子长、种子宽、种胚长和种胚宽皆为杂交F1代相对自交高,CY、DY的4项农艺性状中有3项杂交F1高于自交,CY×BJ、DY×BJ展现出了杂交F1代种子形态上的优势。

### 2.5 不同种质天麻自交和杂交F1代白麻性状比较

BJ、BD和BW自交F1代白麻长度与其他自交F1代白麻相比具有显著性,分别是70.92 mm、69.01 mm和69.36 mm,杂交组合AW×BJ和DY×BJ的F1代白麻较其他杂交组合显著,分别是69.67 mm和69.52 mm;自交F1代中CY的白麻宽



图2 不同种质天麻自交和杂交F1代蒴果外观形态

Figure 2 Capsule appearance and morphology of *G. elata* germplasms after self-pollinated and hybrid F1

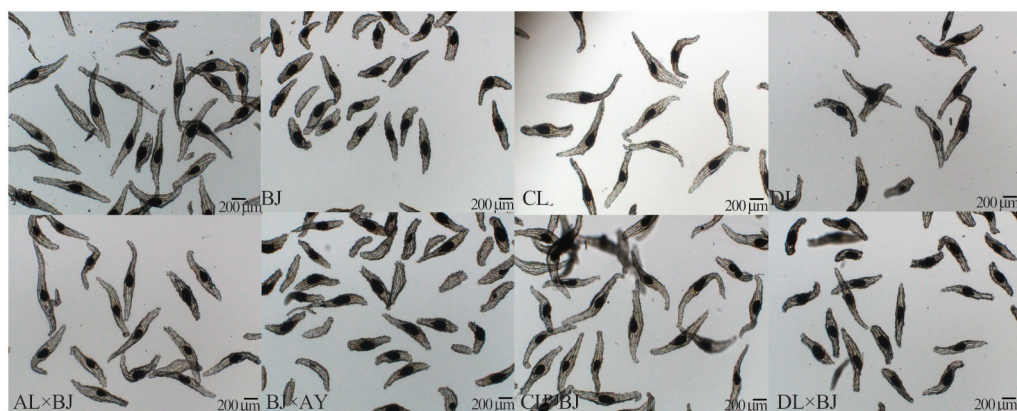


图3 不同种质天麻自交和杂交F1代种子形态特征

Figure 3 Morphology of self-compatible and hybrid F1 seeds of different *G. elata* germplasms

注：4种变型天麻种子自交组和杂交组在显微镜下观察的代表图片

Note: representative pictures of four variant *G. elata* seeds in the self-compatible and hybrid groups under the microscope

度在所有自交F1代中显著,达到29.35 mm,杂交组合BP×AY的F1代白麻宽度在所有杂交F1代中显著,为29.41 mm;其中BJ、BD自交F1的长宽比为3.03、3.04,较其他自交F1代显著,杂交组合DY×BJ的F1代白麻长宽比为2.90 mm,较其他杂交组合显著。对比得出,AW×BJ、CY×BJ和DY×BJ杂

交F1比值为2.55、2.09和2.90,相对母本自交F1代的2.07、1.57和1.92增大,麻型靠近父本BJ的细长条型;而BJ×AY、BP×AY杂交F1代的相对母本自交F1比值都降低,麻型靠近父本AY的圆润饱满,改善了麻型,在杂交表现性状上有显著优势(表7)。

表6 不同种质天麻自交和杂交F1种子性状比较(n=30,  $\bar{x} \pm SD$ )

Table 6 Differences of seed characters in self-pollinated and hybrid F1 of *G. elata* germplasms (n=30,  $\bar{x} \pm SD$ )

亲本	种子长/mm	种子宽/mm	种胚长/ $\mu\text{m}$	种胚宽/ $\mu\text{m}$	种子活力/%
云南禄劝乌天麻(AL)	1.03±0.15 <sup>ab</sup>	0.18±0.02 <sup>a</sup>	0.22±0.01 <sup>de</sup>	0.12±0.01 <sup>de</sup>	91.79±3.82 <sup>bc</sup>
四川乌天麻(AP)	1.12±0.13 <sup>a</sup>	0.20±0.10 <sup>a</sup>	0.25±0.04 <sup>bcd</sup>	0.13±0.03 <sup>cde</sup>	84.33±4.04 <sup>de</sup>
湖北宜昌乌天麻(AW)	1.10±0.17 <sup>ab</sup>	0.19±0.02 <sup>a</sup>	0.26±0.03 <sup>b</sup>	0.14±0.02 <sup>bc</sup>	96.91±2.89 <sup>ab</sup>
云南昭通乌天麻(AY)	1.02±0.13 <sup>bc</sup>	0.18±0.03 <sup>a</sup>	0.24±0.04 <sup>bcd</sup>	0.13±0.02 <sup>cde</sup>	83.33±3.33 <sup>e</sup>
安徽红天麻(BJ)	0.71±0.11 <sup>c</sup>	0.16±0.01 <sup>a</sup>	0.22±0.03 <sup>de</sup>	0.13±0.01 <sup>cde</sup>	88.00±7.02 <sup>cde</sup>
四川红天麻(BP)	0.66±0.11 <sup>ef</sup>	0.19±0.03 <sup>a</sup>	0.23±0.04 <sup>bcd</sup>	0.14±0.02 <sup>ab</sup>	73.49±0.86 <sup>f</sup>
陕西红天麻(BD)	0.51±0.07 <sup>g</sup>	0.18±0.01 <sup>a</sup>	0.40±0.07 <sup>a</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	3.85±4.20 <sup>g</sup>
湖北宜昌红天麻(BW)	0.61±0.06 <sup>f</sup>	0.18±0.04 <sup>a</sup>	0.25±0.09 <sup>bc</sup>	0.14±0.02 <sup>bcd</sup>	83.53±0.81 <sup>e</sup>
云南禄劝绿天麻(CL)	0.93±0.14 <sup>c</sup>	0.18±0.02 <sup>a</sup>	0.21±0.02 <sup>c</sup>	0.12±0.02 <sup>de</sup>	100.00±0.00 <sup>a</sup>
云南昭通绿天麻(CY)	1.05±0.15 <sup>ab</sup>	0.16±0.02 <sup>a</sup>	0.22±0.03 <sup>cde</sup>	0.12±0.02 <sup>cde</sup>	91.53±1.36 <sup>bcd</sup>
云南禄劝血天麻(DL)	0.82±0.14 <sup>d</sup>	0.19±0.10 <sup>a</sup>	0.22±0.03 <sup>cde</sup>	0.13±0.02 <sup>cde</sup>	96.97±5.25 <sup>ab</sup>
云南昭通血天麻(DY)	1.03±0.22 <sup>ab</sup>	0.17±0.02 <sup>a</sup>	0.24±0.02 <sup>bcd</sup>	0.11±0.01 <sup>e</sup>	88.00±2.84 <sup>cde</sup>
云南禄劝乌天麻×安徽红天麻(AL×BJ)	0.87±0.19 <sup>bc</sup>	0.18±0.02 <sup>ab</sup>	0.20±0.03 <sup>f</sup>	0.12±0.01 <sup>c</sup>	96.19±4.07 <sup>ab</sup>
四川乌天麻×安徽红天麻(AP×BJ)	0.84±0.19 <sup>cd</sup>	0.17±0.02 <sup>cde</sup>	0.22±0.02 <sup>def</sup>	0.12±0.01 <sup>c</sup>	96.05±3.85 <sup>ab</sup>
湖北宜昌乌天麻×安徽红天麻(AW×BJ)	1.01±0.11 <sup>a</sup>	0.18±0.02 <sup>ab</sup>	0.25±0.03 <sup>ab</sup>	0.14±0.02 <sup>a</sup>	93.13±1.27 <sup>ab</sup>
云南昭通乌天麻×安徽红天麻(AY×BJ)	0.95±0.15 <sup>ab</sup>	0.16±0.03 <sup>c</sup>	0.26±0.03 <sup>ab</sup>	0.13±0.02 <sup>abc</sup>	82.47±7.13 <sup>d</sup>
安徽红天麻×云南昭通乌天麻(BJ×AY)	0.72±0.11 <sup>c</sup>	0.16±0.02 <sup>de</sup>	0.24±0.02 <sup>bc</sup>	0.13±0.02 <sup>ab</sup>	95.02±4.71 <sup>ab</sup>
四川红天麻×云南昭通乌天麻(BP×AY)	0.62±0.09 <sup>f</sup>	0.17±0.03 <sup>bc</sup>	0.23±0.03 <sup>bcd</sup>	0.13±0.02 <sup>ab</sup>	85.59±4.55 <sup>cd</sup>
陕西红天麻×云南昭通乌天麻(BD×AY)	0.72±0.11 <sup>c</sup>	0.16±0.02 <sup>de</sup>	0.24±0.03 <sup>bc</sup>	0.13±0.01 <sup>ab</sup>	90.32±1.05 <sup>abc</sup>
湖北宜昌红天麻×云南昭通乌天麻(BW×AY)	0.73±0.17 <sup>c</sup>	0.17±0.03 <sup>bc</sup>	0.22±0.03 <sup>ef</sup>	0.13±0.02 <sup>bc</sup>	85.53±8.11 <sup>bc</sup>
云南禄劝绿天麻×安徽红天麻(CL×BJ)	0.91±0.10 <sup>bc</sup>	0.18±0.02 <sup>ab</sup>	0.21±0.02 <sup>def</sup>	0.12±0.01 <sup>c</sup>	89.40±4.75 <sup>bcd</sup>
云南昭通绿天麻×安徽红天麻(CY×BJ)	1.02±0.15 <sup>a</sup>	0.18±0.03 <sup>abc</sup>	0.27±0.03 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>ab</sup>	90.35±1.39 <sup>bc</sup>
云南禄劝血天麻×安徽红天麻(DL×BJ)	0.74±0.15 <sup>de</sup>	0.17±0.02 <sup>cde</sup>	0.23±0.03 <sup>cde</sup>	0.13±0.01 <sup>ab</sup>	98.15±3.21 <sup>a</sup>
云南昭通血天麻×安徽红天麻(DY×BJ)	1.04±0.17 <sup>a</sup>	0.19±0.02 <sup>a</sup>	0.23±0.03 <sup>bcd</sup>	0.13±0.02 <sup>ab</sup>	91.73±1.01 <sup>abc</sup>

注:差异显著性检验为Duncan法,小写字母表示5%差异水平(纵向比较)

Note: the difference significance test is Duncan method, and the lowercase letters represent the 5% difference level (longitudinal comparison)

#### 4 讨论

天麻主产区海拔范围广泛,在因地制宜、控制好温湿度及光照前提下,可引种天麻在不同海拔处抽薹生长<sup>[16]</sup>。天麻品种选育主要围绕乌、红和绿3种变型进行杂交,不同产地天麻因遗传背景和环境因素影响,在产量、性状、成分等方面显示出明显差异<sup>[8]</sup>,本研究选取了主要天麻产区的地区主栽品系或特色种质资源进行不同品系间的杂交,以期获得不同种质为天麻优良品种选育奠定基础。据报道,气候环境对乌天麻箭麻的生育期和农艺性状具有显著影响,而授粉量会影响天麻蒴果大小、重量和单颗果实的种子总重量,但对种子长度和种胚的形态影响不大<sup>[13]</sup>。通过研究天麻自交和杂交后代的蒴果、种子形态,可以深入了解天麻的遗传特性和遗传规律,可以初步预测杂交后代的性状表现,为后续的遗

传改良和杂交育种提供理论基础<sup>[17]</sup>。研究种子活力差异有助于了解种子的萌发能力和生长潜力,为提高种子质量、增加产量提供科学依据<sup>[18]</sup>。天麻四种变型在麻型、花茎色泽、蒴果产量和后代性状上具有显著差异,本研究的结果与以往报道一致<sup>[9,19-20]</sup>,红天麻种质的麻型较其他天麻变型偏长,其长宽比在1.94~2.50;种质间花茎及蒴果表现上存在差异,红天麻果荚较其他3种短小而饱满,乌、绿、血3种果荚相对红天麻果荚较长。另外,据文献报道,天麻杂交育种后代的白麻产量显著高于自交天麻,显示出杂种优势<sup>[21-22]</sup>,而杂交后代在蒴果和种子的性状以及种子活力、种子产量、质量甚至次生代谢产物的积累存在相关性<sup>[23-24]</sup>。本研究发现,杂交后代在蒴果表型性状、种子性状及活力与种子产量、白麻性状上与自交有显著差异,果荚性状介于亲本之间,乌麻杂交果荚颜色更偏向母本的棕黑色,血麻杂交颜色更偏

表7 不同种质天麻自交和杂交F1代白麻性状比较 (n=10,  $\bar{x}\pm SD$ )Table 7 Morphology of self-pollinated and hybrid F1 immature tuber of different *G. elata* germplasms (n=10,  $\bar{x}\pm SD$ )

亲本	长/mm	宽/mm	长/宽
四川乌天麻(AP)	63.18±7.90 <sup>bc</sup>	28.07±6.41 <sup>abc</sup>	2.30±0.35 <sup>c</sup>
湖北宜昌乌天麻(AW)	56.59±4.53 <sup>d</sup>	27.44±2.67 <sup>abcd</sup>	2.07±0.11 <sup>cd</sup>
云南昭通乌天麻(AY)	49.31±2.03 <sup>ef</sup>	26.31±0.80 <sup>bcde</sup>	1.87±0.13 <sup>d</sup>
安徽红天麻(BJ)	70.92±5.55 <sup>a</sup>	23.50±2.32 <sup>ef</sup>	3.03±0.28 <sup>a</sup>
四川红天麻(BP)	68.37±6.18 <sup>ab</sup>	25.31±3.17 <sup>edef</sup>	2.72±0.22 <sup>b</sup>
陕西红天麻(BD)	69.01±5.45 <sup>a</sup>	22.88±2.33 <sup>f</sup>	3.04±0.35 <sup>a</sup>
湖北宜昌红天麻(BW)	69.36±6.90 <sup>a</sup>	25.19±3.58 <sup>edef</sup>	2.78±0.32 <sup>b</sup>
云南禄劝绿天麻(CL)	59.21±8.83 <sup>cd</sup>	26.31±2.95 <sup>bcde</sup>	2.26±0.32 <sup>c</sup>
云南昭通绿天麻(CY)	46.15±3.93 <sup>f</sup>	29.35±1.35 <sup>a</sup>	1.57±0.12 <sup>e</sup>
云南昭通血天麻(DY)	54.79±6.71 <sup>de</sup>	28.58±1.86 <sup>ab</sup>	1.92±0.18 <sup>d</sup>
云南禄劝乌天麻×安徽红天麻(AL×BJ)	59.72±5.09 <sup>b</sup>	27.92±3.35 <sup>ab</sup>	2.17±0.38 <sup>cd</sup>
四川乌天麻×安徽红天麻(AP×BJ)	61.70±3.35 <sup>b</sup>	26.87±2.15 <sup>b</sup>	2.31±0.19 <sup>bc</sup>
湖北宜昌乌天麻×安徽红天麻(AW×BJ)	69.67±3.19 <sup>a</sup>	27.31±1.06 <sup>ab</sup>	2.55±0.09 <sup>b</sup>
安徽红天麻×云南昭通乌天麻(BJ×AY)	61.68±2.86 <sup>b</sup>	29.26±2.23 <sup>ab</sup>	2.11±0.13 <sup>cd</sup>
四川红天麻×云南昭通乌天麻(BP×AY)	59.23±4.60 <sup>b</sup>	29.41±2.85 <sup>a</sup>	2.02±0.13 <sup>d</sup>
云南禄劝绿天麻×安徽红天麻(CL×BJ)	62.97±8.35 <sup>b</sup>	27.25±2.81 <sup>ab</sup>	2.32±0.27 <sup>bc</sup>
云南昭通绿天麻×安徽红天麻(CY×BJ)	58.37±4.06 <sup>b</sup>	28.35±3.78 <sup>ab</sup>	2.09±0.25 <sup>cd</sup>
云南昭通血天麻×安徽红天麻(DY×BJ)	69.52±7.05 <sup>a</sup>	24.24±2.26 <sup>c</sup>	2.90±0.48 <sup>a</sup>

注:差异显著性检验为Duncan法,小写字母表示5%差异水平(纵向比较)

Note: the difference significance test is Duncan method, and the lowercase letters represent the 5% difference level (longitudinal comparison)

向母本的橘红色,蒴果颜色是属于母本遗传;麻型是天麻药材优质优形的重要指标,天麻不同种质杂交后代的麻型具有父系遗传的特点,如AW、CY和DY杂交后白麻麻型靠近父本BJ的细长条型,BJ、BP杂交后麻型靠近父本AY的圆润饱满型,本研究结果说明选择AY作为父本,BJ或BP作为母本对于天麻优形育种具有重要意义。

自杂交育种作为传统育种手段之一,在作物和中药材品种的改良和新品种选育中发挥着重要作用<sup>[25-26]</sup>。品种选育研究总结了成熟天麻的产量和形状<sup>[7]</sup>,经过了长时间研究得出的优良杂交组合,而本研究结果说明相对亲本有改善天麻形状的杂交组合,以及遗传特性偏向和规律,统计了前人研究中未系统总结的种子产量等,与后续天麻成熟块茎的性状和产量紧密相关。天麻的品种选育包括挑选亲本,人工控制温湿度繁育,与共生菌拌种萌发,定植土壤及后期生长观察等。本研究对挑选亲本和自杂交繁育的主要表观性状进行了统计,后续仍需重复试验遗传稳定性和进一步开展箭麻品质评价工作,从而选育出具有高产、高品质和抗逆性强的天麻优良新品种并进行生产使用。

## 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.  
National Pharmacopoeia Commission. People's Republic of China (PRC) Pharmacopoeia-Part I[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [2] 王彩云, 张翔宇, 成忠均, 等. 基于表型性状及SSR标记的天麻种质资源遗传多样性分析[J]. 中药材, 2024, 47(2): 281-289.  
Wang C Y, Zhang X Y, Cheng Z J, et al. Genetic diversity analysis of *Gastrodia elata* germplasm resources based on phenotypic traits and SSR markers[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2024, 47 (2): 281-289.
- [3] 吴海英. 天麻种植生态气候条件及增产技术[J]. 种子科技, 2023, 41(4): 52-54, 57.  
Wu H Y. Eco-climatic conditions and yield-increasing techniques of *Gastrodia elata* planting [J]. Seed Science & Technology, 2023, 41(4): 52-54, 57.
- [4] 杨成民, 魏建和, 隋春, 等. 我国中药材新品种选育进展与建议[J]. 中国现代中药, 2013, 15(9): 727-737.  
Yang C M, Wei J H, Sui C, et al. The progress and suggestion of medicinal plants breeding [J]. Modern

- Chinese Medicine, 2013, 15(9): 727-737.
- [ 5 ] 魏建和, 杨成民, 隋春, 等. 利用雄性不育系育成桔梗新品种‘中梗1号’、‘中梗2号’和‘中梗3号’[J]. 园艺学报, 2011, 38(6): 1217-1218.
- Wei J H, Yang C M, Sui C, et al. New Chinese bellflower cultivars ‘Zhonggeng 1’, ‘Zhonggeng 2’ and ‘Zhonggeng 3’ developed by using the male sterile line [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(6): 1217-1218.
- [ 6 ] 王绍柏, 余昌俊, 许启新. “鄂天麻一号”栽培技术要点[J]. 食用菌, 2005, 27(5): 20.
- Wang S B, Yu C J, Xu Q X. Key points of cultivation techniques of “E Tianma No. 1” [J]. Edible Fungi, 2005, 27(5): 20.
- [ 7 ] 王绍柏, 覃守茂, 游中华. “鄂天麻二号”品种的栽培技术[J]. 时珍国医国药, 2004, 15(9): 636.
- Wang S B, Qin S M, You Z H. Cultivation techniques of “E Tianma No. 2” [J]. LiShiZhen Medicine and Materia Medica Research, 2004, 15(9): 636.
- [ 8 ] 胡青青, 王咏波, 胥烜勋, 等. 天麻栽培技术与品种选育研究进展[J]. 中国药学杂志, 2021, 56(11): 868-874.
- Hu Q Q, Wang Y B, Xu X X, et al. Progress on cultivation technique and variety breeding of *Gastrodia elata* BL [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2021, 56(11): 868-874.
- [ 9 ] 杨洋. 血红天麻种质资源评价及其化学成分研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2023.
- Yang Y. Evaluation of germplasm resources of *Gastrodia elata* and study on its chemical constituents [D]. Guiyang: Guizhou University, 2023.
- [ 10 ] 袁青松, 王绘, 江维克, 等. 温度和品种对天麻抽薹特性的影响[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(3): 485-490.
- Yuan Q S, Wang H, Jiang W K, et al. Dissection of seed development of *Gastrodia elata* at different temperatures [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(3): 485-490.
- [ 11 ] 杨菊, 张艳兰, 李德朗, 等. 昭通天麻地理标志产品保护现状及对策[J]. 技术与市场, 2022, 29(11): 181-183.
- Yang J, Zhang Y L, Li D L, et al. Protection status and countermeasures of *Gastrodia elata* geographical indications in Zhaotong [J]. Technology and Market, 2022, 29(11): 181-183.
- [ 12 ] 国家知识产权局关于对金寨天麻等3个产品予以地理标志产品初步认定的公告[J]. 中国食品安全, 2024, (5): 71-74.
- State Intellectual Property Office on Jinzhai *Gastrodia* and other three products to give geographical indications Announcement of initial product identification [J]. China Food Safety, 2024, (5): 71-74.
- [ 13 ] 高尚, 曹小勇, 胡选萍, 等. 不同授粉量对天麻果实发育及结实的影响[J]. 生物学杂志, 2022, 39(2): 80-83.
- Gao S, Cao X Y, Hu X P, et al. Study on the effects of different pollen load on fruit development and seed setting of *Gastrodia elata* [J]. Journal of Biology, 2022, 39(2): 80-83.
- [ 14 ] 中华人民共和国农业部. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 天麻: NY/T 2593—2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- Ministry of Agriculture of the People’s Republic of China. Guidelines for testing specificity, consistency and stability of new plant varieties—*Gastrodia elata*: NY/T 2593—2014 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.
- [ 15 ] 鲁继周, 王铭. 应用红四氮唑染色法测定天麻种子生活力的研究[J]. 时珍国药研究, 1992, 3(4): 176-178.
- Lu J Z, Wang M. Study on determination of seed viability of *Gastrodia elata* by red tetrazolium staining method [J]. ShiZhen Journal of Traditional Chinese Medicine Research, 1992, 3(4): 176-178.
- [ 16 ] 何海艳, 王玉川, 丁培超, 等. 天麻种植生态气候条件及增产技术[J]. 南方农业, 2018, 12(36): 5-7.
- He H Y, Wang Y C, Ding P C, et al. Eco-climatic conditions and yield-increasing techniques of *Gastrodia elata* planting [J]. South China Agriculture, 2018, 12(36): 5-7.
- [ 17 ] 孙群, 王建华, 孙宝启. 种子活力的生理和遗传机理研究进展[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 48-53.
- Sun Q, Wang J H, Sun B Q. Advances on seed vigor physiological and genetic mechanisms [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(1): 48-53.
- [ 18 ] 谭利平, 曹莹, 彭培好. 不同种源地四川牡丹种子质量差异[J]. 中国野生植物资源, 2023, 42(8): 1-9.
- Tan L P, Cao Y, Peng P H. Study on the seed quality difference of *Paeonia decomposita* from different provenances [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2023, 42(8): 1-9.
- [ 19 ] 文国松, 萧凤回. 4种天麻变型的表型性状遗传多样性研究[J]. 西部林业科学, 2011, 40(2): 21-25.
- Wen G S, Xiao F H. Genetic diversity from phenotypic characteristics in four variations of *Gastrodia elata* [J]. Journal of West China Forestry Science, 2011, 40(2): 21-25.
- [ 20 ] 吴尊华, 王绍柏, 余昌俊. 天麻不同品种商品形态和质量性状比较分析[J]. 食用菌, 2011, 33(3): 24-26.

- Wu Z H, Wang S B, Yu C J. Comparative analysis of commodity morphology and quality traits of different *Gastrodia elata* varieties [J]. *Edible Fungi*, 2011, 33(3): 24-26.
- [21] 梁彤. 天麻优良杂交组合筛选及繁育技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- Liang T. Study on screening and breeding techniques of excellent hybrid combinations of *Gastrodia elata* [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020.
- [22] 曲宾, 赵琨, 冯钰添, 等. 乌天麻×红天麻正反交杂种子代的选育研究[J]. *吉林林业科技*, 2016, 45(6): 1-4, 62.
- Qu B, Zhao K, Feng Y T, et al. The seed selection research of reciprocal cross hybrid progeny of *Gastrodia elata* f. *glauca* and *Gastrodia elata* f. *elata* [J]. *Journal of Jilin Forestry Science and Technology*, 2016, 45(6): 1-4, 62.
- [23] 樊香绒. 菱属果壳次生代谢产物分析及其影响因子的研究[D]. 拉萨: 西藏大学, 2022.
- Fan X R. Analysis of secondary metabolites in the shell of *Trapa* and study on its influencing factors [D]. Lasa: Tibet University, 2022.
- [24] 刘樊, 颜鸿远, 徐阳晓, 等. 乌天麻与红天麻杂交制种中定植升温时间研究[J]. *生物资源*, 2023, 45(2): 177-184.
- Liu F, Yan H Y, Xu Y X, et al. Study on the planting and warming time in hybrid seed production of *Gastrodia elata* f. *glauca* and *Gastrodia elata* f. *elata* [J]. *Biotic Resources*, 2023, 45(2): 177-184.
- [25] 李敏, 赵文吉, 敬勇, 等. “十二五”川产道地药材种质资源和优良品种选育研究[J]. *中国现代中药*, 2017, 19(6): 804-808, 827.
- Li M, Zhao W J, Jing Y, et al. Research on germplasm resources and variety breeding of Sichuan geophytes under “the 12th Five-Year Plan” [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2017, 19(6): 804-808, 827.
- [26] 张九东, 王茸茸, 徐伟君, 等. 软枣猕猴桃的繁育系统与杂交授粉[J]. *生物资源*, 2023, 45(3): 236-242.
- Zhang J D, Wang R R, Xu W J, et al. Breeding system and hybrid pollination of *Actinidia arguta* [J]. *Biotic Resources*, 2023, 45(3): 236-242.

□

(编辑: 杨晓翠)